

# プレストレスト・コンクリート梁のせん断試験

—名古屋日産館における M. D. C. 工法による P. C. 梁—

松本芳紀

## §1. はじめに

名古屋日産館新築工事において、M. D. C. 工法によるプレストレスト・コンクリート梁が使用された。この梁は、スパン11mで単純梁として使用し、鉄骨柱から突き出したブラケット上へのせ、ボルト締めにより接合する方法をとっているために、梁端付近でコンクリート断面が急激に変化している。

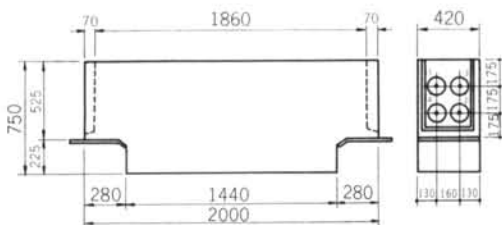
本実験は、ここで使用された端部付近で断面の急変するプレストレスト・コンクリート梁の、せん断力に対する安全性を検討するため、工事に先立ち、実大断面の試験体によるせん断試験を行なったものである。

実験においては、まず、プレストレス導入時の梁端付近の割裂に対するひずみ分布の測定、ならびに軸方向ひずみの測定を行ない、次に、載荷時における各ひずみの測定、ならびにひび割れの観測を行なった。

以下、その結果を報告する。

## §2. 試験体

試験体は、A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、Bの3個で、いずれも形状、寸法は同じであるが、A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>には、プレストレス導入後グ



図一 試験体の形状および寸法

ラウト注入を行ない、Bには、グラウト注入を行っていない。図一に試験体の形状、寸法を、表一にコンクリートの配合を示す。

粗骨材の最大寸法 mm	スラブ厚 cm	空気量 %	水セメント比 %	砂率 %	所要強度 kg/cm <sup>2</sup>	コンクリートの配合				
						セメント kg	水 kg	砂 kg	砂利 kg	ポゾリス kg
25	5	3	38	36.5	400	418	158	642	1147	2.09

(セメント：早強ポルトランドセメント)

表一 コンクリートの配合

## §3. コンクリートの強度および弾性係数

コンクリートの試験結果を表二に示す。なお、弾性係数は、ワイヤーストレインゲージを使用して、破壊荷重の1/4における $\sigma/\epsilon$ とした。

強度 材令	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	弾性係数 kg/cm <sup>2</sup>
7 日	347	24.4	—
	316	21.2	
	339	—	
平均	334	22.8	
28 日	458	25.5	3.22×10 <sup>5</sup>
	422	24.8	2.89×10 <sup>5</sup>
	486	—	—
平均	455	25.2	3.05×10 <sup>5</sup>

表二 コンクリートの強度および弾性係数

## § 4. プレストレス導入時のひずみ測定

### 4.1 実験方法

試験体へのプレストレス導入は、コンクリート打設後1週に行かない、同時に、軸方向ひずみ、割裂に対するひずみ、ならびにケーブルの伸び量の測定を行なった。

各試験体には、実際の場合と同じく、12-φ7mm ケーブル(引張強度 156 kg/cm<sup>2</sup>, 弾性係数 2.0×10<sup>6</sup>kg/cm<sup>2</sup>) 4本を使用している。プレストレスの導入は、試験体を両端より10cmの点を支持した状態で、手動油圧ジャッキにて、まずケーブル1, 2を緊張し、次に、反対側からケーブル3, 4を緊張した。ケーブル1, 2, 3, 4の定着前最終緊張力は、各々、47.6, 47.4, 47.2, 47.0 tonである。この緊張力は、ジャッキ圧力計の指示による。測定は5 tonごとに行ない、軸方向ひずみは各試験体につき16箇所、割裂に対するひずみは試験体Bのみ24箇所の測定を行なった。なお、ひずみ測定においては自重による曲げが生じている状態を0としている。図-2にその測定位置を示す。

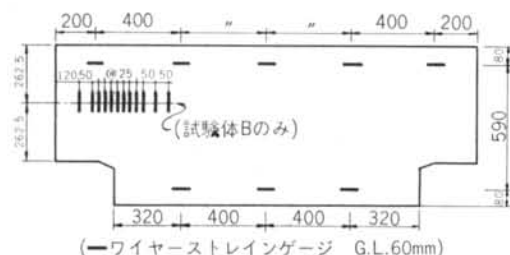


図-2 プレストレス導入時のひずみ測定位置

### 4.2 実験結果

プレストレス導入時における試験体 A<sub>1</sub> の軸方向ひずみ測定結果を図-3に示す。グラフは、縦軸に正面と裏面の平均ひずみを、横軸に緊張したケーブルの本数を示してある。この実験結果からは、梁端付近の軸方向ひずみ分布を知ることはできないが、試験体の中央付近ではほぼ、計算値に近い一定状態に達していると思われる。

試験体Bの割裂に対するひずみ分布測定結果を図-4に示す。グラフは、縦軸に正面と裏面の平均ひずみを、横軸に定着面からの距離を示してある。割裂に対するひずみは、定着面より、梁成の1/3付近で最大値を示しており、理論上の最大位置とほぼ一致する。

ケーブルの抜け出し長さを表-3に示す。測定には、<sup>1</sup>/<sub>100</sub>mm 目盛のダイヤルゲージを使用した。定着時の定

着端すべり量は、本実験では0.5mm程度であった。

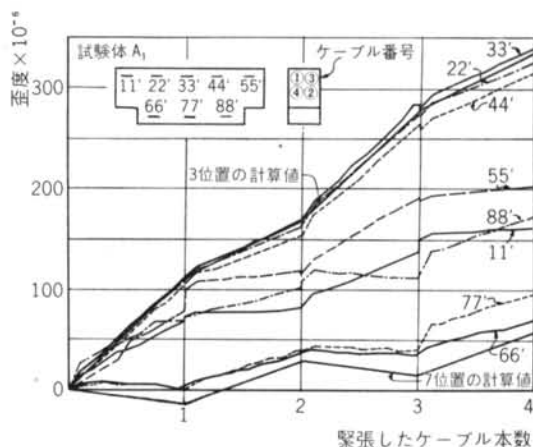


図-3 プレストレス導入時の軸方向ひずみ測定結果

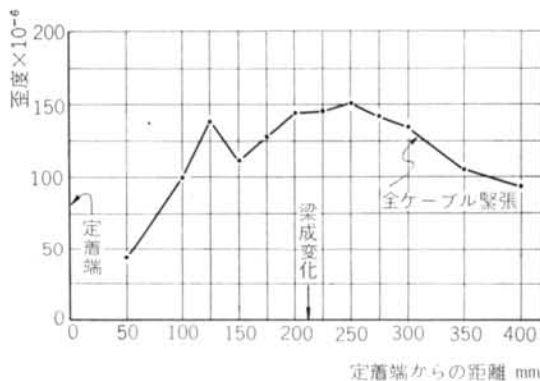


図-4 割裂に対するひずみ分布

試験体	ケーブル番号	定着緊張力 ton	ケーブル抜け出し長さ mm	
			定着前	定着後
A <sub>1</sub>	1	47.6	9.00	8.50
	2	47.4	9.40	8.95
	3	47.2	9.10	8.30
	4	47.0	8.65	8.35
A <sub>2</sub>	1	47.6	8.60	8.15
	2	47.4	9.15	8.75
	3	47.2	9.30	9.15
	4	47.0	9.55	8.95
B	1	47.6	11.05	—
	2	47.4	10.40	9.35
	3	47.2	8.95	8.15
	4	47.0	6.70	5.95

表-3 ケーブルの抜け出し長さ

## § 5. 載荷実験

### 5.1 実験方法

載荷実験は、コンクリート打設後4週にて行なった。

実験には、200ton アムスラー試験機を使用し、支点間距離180cm、中央集中荷重とし、まず、ならしの目的で10tonの荷重を加えてしばらく放置した後に荷重を0に戻し、それから実験を開始した。10tonごとに荷重を保持して測定し、同時にひび割れの観測を行なった。

載荷に当って、載荷点および支点におけるコンクリートの圧壊を防ぐため、載荷点には、厚さ12mm、幅200mmの座金3枚、支点には、厚さ22mm、幅100mmの座金1枚を使用した。なお、ひずみ測定には長さ60mmのワイヤーストレインゲージを、たわみ測定には $1/100$ mm目盛のダイヤルゲージを使用した。図-5に実験装置を、図-6にひずみ測定位置を示す。

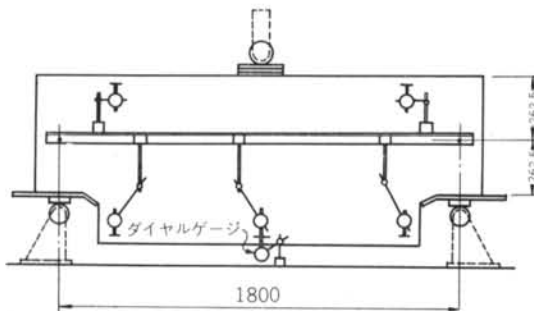
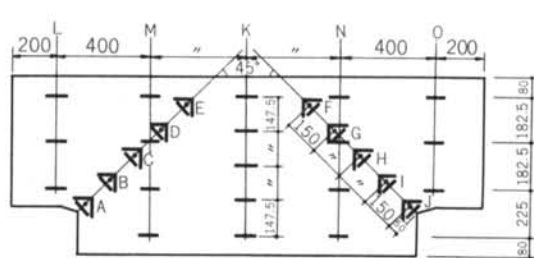


図-5 載荷実験装置



(—ワイヤーストレインゲージ G.L.60mm)

図-6 載荷時のひずみ測定位置

### 5.2 実験結果および考察

図-7に試験体A<sub>1</sub>の中央断面の軸方向ひずみ分布を、図-8に荷重-たわみ曲線を、図-9~図-12に試験体A<sub>2</sub>, Bのひび割れ図を示す。

ひび割れ図中の数字は、ひび割れがそこまで到達したときの荷重を示し、単位はtonである。

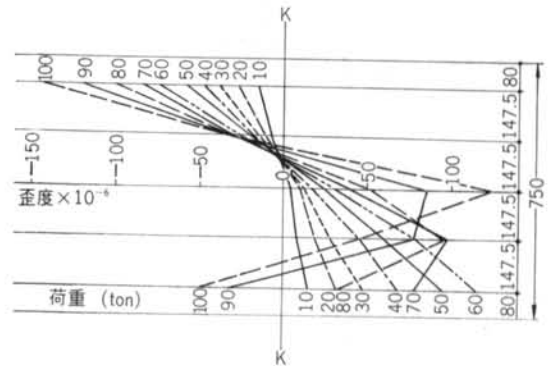


図-7 試験体A<sub>1</sub>中央断面の軸方向ひずみ分布

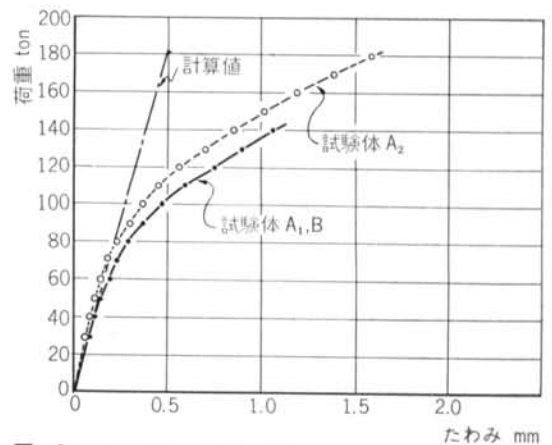


図-8 中央の荷重-たわみ曲線

(計算値は、完全弾性体としてのたわみを示す。)

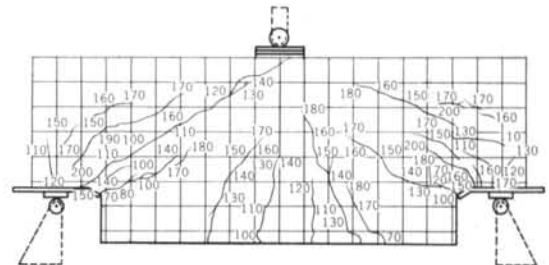


図-9 試験体A<sub>2</sub>表面のひび割れ図

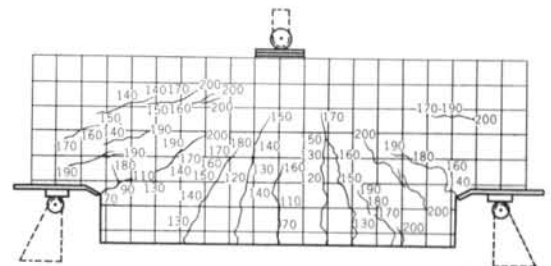


図-10 試験体A<sub>2</sub>裏面のひび割れ図

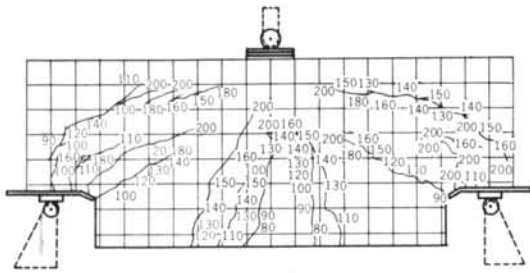


図-11 試験体B表面のひび割れ図

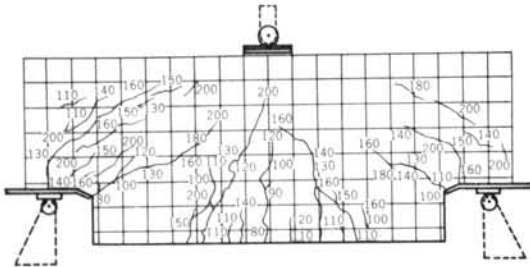


図-12 試験体B裏面のひび割れ図

これらの結果より、荷重60ton程度までは、試験体はほぼ弾性的な挙動を示しているが、70~80ton付近からまず、中央下端に曲げによるひび割れが認められ、それとほとんど同時か、さらに荷重を10ton加えたときに、断面の変化する部分にひび割れが認められた。さらに加重を加えていくにつれて、これらのひび割れは載荷点に向かって進行し、また、途中100~110ton付近で生じた端部中立軸付近の斜めひび割れが、載荷点と支点に向かって進行している。荷重200tonでは、ひび割れは相当進行しているが、破壊にはいたらず、アムスラー試験機の載荷能力が200tonであるため、最終破壊を起こすことはできなかった。

ある点における主ひずみの大きさおよびその方向は、その点における任意の3方向のひずみがわかれば、これから求めることができる。本実験においては、材軸方向に対し0°、45°、90°の3方向に測定図のごとくゲージを貼って、それらの測定値を、ゲージの位置を3辺とする三角形の重心点の3方向の値と仮定した。なお、重心点から各測定位置までの距離は、2.5cmである。

いま、測定結果より、各点における主ひずみの大きさおよびその方向を求めてみよう。

軸方向に対し、0°、45°、90°方向のひずみを $\epsilon_0$ 、 $\epsilon_{45}$ 、 $\epsilon_{90}$ とすると、主ひずみ $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、および $\epsilon_1$ が材軸となす角度 $\phi$ は、次の式で表わされる。

$$\epsilon_2 = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\epsilon_0 - \epsilon_{90}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90} - \epsilon_{45}}{2}\right)^2}$$

$$\tan 2\phi = \frac{\epsilon_0 + \epsilon_{90} - 2\epsilon_{45}}{\epsilon_0 - \epsilon_{90}}$$

上式を使い、測定値より40tonにおけるA~J点の $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ および $\phi$ を計算し、結果を表-4、図-13に示す。

位置	測定値			計算結果		
	$\epsilon_0$	$\epsilon_{45}$	$\epsilon_{90}$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\phi$
A	$18 \times 10^{-6}$	$44 \times 10^{-6}$	$-13 \times 10^{-6}$	$47 \times 10^{-6}$	$-41 \times 10^{-6}$	39.8°
B	—	13	-9	—	—	—
C	-18	14	-2	15	-35	54.2
D	-50	0	4	13	-59	69.8
E	-90	-18	12	16	-94	78.9
F	18	57	-6	58	-46	38.2
G	-6	28	-3	28	-38	45.0
H	-19	35	0	36	-56	51.5
I	-48	23	8	31	-71	62.0
J	-81	-4	13	22	-90	73.7
A'	64	109	-17	118	-70	32.4
B'	0	25	—	—	—	—
C'	-77	33	5	44	-116	60.3
D'	-42	22	3	30	-70	59.2
E'	-72	-4	10	18	-80	73.3
F'	19	34	-11	38	-30	31.7
G'	—	19	0	—	—	—
H'	-20	20	-3	21	-45	52.6
I'	-43	9	-1	15	-59	62.0
J'	—	-9	9	—	—	—

表-4 試験体A<sub>1</sub>の荷重40tonにおける主ひずみおよびその方向

試験体A<sub>1</sub>(表)

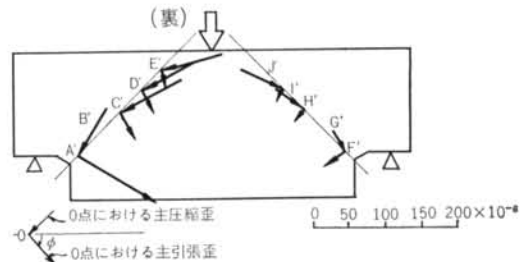
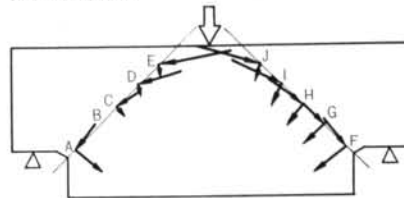


図-13 荷重40tonにおける主ひずみおよびその方向

しかし、ひずみ測定においては、プレストレスのかかった状態を0としているため、この結果の中にはプレストレスの影響が入っておらず、A～J点における主ひずみの大きさおよびその方向は、実際のひび割れ図と比較すると、かなり異なっており、ひび割れの方向がかなり材軸方向にねている。すなわち、この相異がプレストレスの影響によるものであり、プレストレスト・コンクリート梁では、斜張力によるひび割れの発生に対しては、普通鉄筋コンクリート梁よりも、かなりの抵抗を示し、ひび割れの方向は、材軸方向に対して45°よりもねてくることがわかる。

せん断破壊には2種類あって、まず、荷重が増加するに従って、梁のせん断スパン（曲げとせん断を同時に受ける部分）にも曲げによるひび割れが発生するが、さらに荷重を増加したときに、曲げによるひび割れとは無関係に、断面中立軸付近に斜張力による斜めひび割れが発生し、急速に、支点および載荷点の両方向に伸展して破

壊する斜張力破壊と、それから、せん断スパンに発生した斜めひび割れが、徐々に進行し、圧縮縁近くまで発達し、載荷点直下付近のコンクリートの圧壊によって破壊するせん断圧縮破壊とがある。

本実験においては、最終破壊の様子を観測することはできなかったが、ひび割れ図から判断して、これらの試験体では、せん断圧縮破壊を起こすものと思われる。

最後に、実際の設計においては、梁の中央断面が曲げ破壊を起こすときの等分布荷重は約10.8t/m<sup>2</sup>で、そのときのせん断力は約59tonであるから、曲げ破壊が先行しせん断破壊に対しては充分なる安全性を持つ。

この実験は、京都大学の坂博士のご指導の下に、日建設計工務の松井氏、川崎製鉄の松尾、吉村両氏、清水建設名古屋支店の内田氏、ほか、清水建設研究所の方々のご協力を得て行なったものであることを附記し、上記諸氏に感謝の意を表する。